

⑫ 公開特許公報(A)

昭60-217322

⑬ Int. Cl.⁴

識別記号

庁内整理番号

⑭ 公開 昭和60年(1985)10月30日

G 02 B 7/11
21/00H-7448-2H
7370-2H

審査請求 未請求 発明の数 1 (全7頁)

⑮ 発明の名称 焦点検出装置

⑯ 特 願 昭59-74244

⑰ 出 願 昭59(1984)4月13日

⑱ 発 明 者 須 藤 武 司 船橋市芝山1-7-6
⑲ 発 明 者 間 潤 治 川崎市中原区今井南町492-408
⑳ 出 願 人 日本光学工業株式会社 東京都千代田区丸の内3丁目2番3号
㉑ 代 理 人 弁理士 渡辺 隆男

明 細 書

1. 発明の名称

焦点検出装置

2. 特許請求の範囲

結像光学系を介して対象物の表面に収束したスポット光を照射し、該スポット光の前記表面での反射光を前記結像光学系を介して所定の結像面に向けて収束し、該結像面に形成されたスポット光の像の結像状態から前記結像光学系の前記表面に対する焦点ずれを検出する装置において、前記結像光学系を通して収束された反射光の光路中で、所定の距離だけ前記結像光学系の光軸方向に離れた2つの位置に、一部に前記スポット光像の形状と略相似な形の不感光部を設けた受光面が夫々配置され、該受光面の前記不感光部以外の部分に達する前記反射光の量に応じた光電信号を出力する2つの光電検出手段と；該2つの光電検出手段の光電信号に基づいて、前記焦点ずれを検出する検出回路とを備えたことを特徴とする焦点検出装置。

3. 発明の詳細な説明

(発明の技術分野)

本発明は光学系の焦点検出装置に関し、特に微小な物体の観察装置や検査装置等に用いられる顕微鏡光学系等に好適な焦点検出装置に関する。

(発明の背景)

顕微鏡対物レンズを用いてマスクのパターンやウエハ上のパターンを観察する際、その対物レンズをマスクやウエハ等の試料表面に正確に焦点合せする必要がある。この焦点合せを自動的に行なうためには、対物レンズによって形成された光学像の結像状態を正確に検出する焦点検出装置が必要である。従来、対物レンズを介してレーザー光のスポットを試料表面に照射し、その反射光を対物レンズを介して所定の結像面に向けて収束し、その結像面から離れた位置(デフォーカス位置)に2分割や4分割の受光素子を配置し、その受光素子の受光面に形成されたスポット光のデフォーカス像の位置や中心を測定することによって、焦点検出を行なう装置が考えられている。このように2分割や4分割の受光素子を用いるものは、試料

が静止している場合は良いが、試料が移動ステージ上に載置されて検査や観察のために高速に移動する場合や、試料表面のコントラストが一定でなく変化する場合は、2分割、又は4分割された各受光素子に受光される光量に差が生じ、正確な焦点検出が困難になるという欠点があった。

(発明の目的)

本発明は上記欠点を解決し、試料の高速な移動や、表面のコントラストの変化にも影響されず、容易にかつ高精度に焦点ずれを検出する焦点検出装置を提供することを目的とする。

(発明の概要)

本発明は、結像光学系を介して試料(対象物)の表面に収束したスポット光を照射し、該スポット光の試料表面での反射光を結像光学系を介して所定の結像面に向けて収束し、その結像面に形成されたスポット光の像の結像状態から焦点ずれを検出する装置において、前記結像光学系を通して収束された反射光の光路中で、結像光学系の光軸方向の前後に所定の距離だけ離れた2つの位置に、

(3)

るように2次元移動する。試料5の表面で反射した光は再び対物レンズ4、ハーフミラー3を通過して集光レンズ7に至る。集光レンズ7で収束された反射光はハーフプリズム8でほぼ1対1の光強度になるように2つの方向に分割される。ハーフプリズム8を通過した反射光は対物レンズ4と集光レンズ7によって決まる所定の結像面FP1に向けて収束する。この結像面FPは対物レンズ4の焦点が試料5の表面と正確に一致したとき、光源1のピンホールの像が正確に結像する位置である。そして、結像面FP1から対物レンズ4側に距離dだけ離れた位置(前ピン位置)に第1の光電検出器9を配置する。光電検出器9の受光面は所定の直径を有する円形であり、その受光面上には円形のガラス板9aが設けられている。そしてガラス板9aの中心部には、光源1のピンホールの像が正確に結像面FP1に結像するような状態、すなわち対物レンズ4の焦点合せが達成されたとき、ハーフプリズム8を通過した反射光がほぼ全部遮光されるような直径を有する円形遮光部

(5)

一部にスポット光像の形状と略相似な形の不感光部を設けた受光面が配置され、その受光面の不感光部以外の部分に達する反射光の量に応じた光電信号を出力する2つの光電検出手段と、その2つの光電検出手段の光電信号に基づいて焦点ずれを検出する検出回路とを設けることを技術的要点としている。

(実施例)

第1図は本発明の実施例による焦点検出装置の概略的な光学配置図である。光源1は試料上にスポット光を形成するための発光素子、例えばレーザダイオード、LEDあるいは白熱電球等と、該発光素子によって照明されるピンホールを持った遮光板とを有する。そのピンホールからの光束はレンズ2によって平行光束にされ、ハーフミラー3によって反射されて対物レンズ4に入射する。この平行光束は対物レンズ4によって収光され、試料5の表面にピンホールの像、すなわちスポット光を形成する。ステージ6は試料5を載置して、試料5表面の任意の位置にスポット光が形成され

(4)

9bが低反射クロム等で設けられている。

一方、ハーフプリズム8で反射された試料5からの反射光は結像面FP1と共役な結像面FP2に収束する。そして、光電検出器9と同一形状の第2の光電検出器10は、結像面FP2から距離dだけ対物レンズ4と反対側に離れた位置(後ピン位置)に配置されている。この光電検出器10も、円形のガラス板10aと円形遮光部10bを有し、円形遮光部10bの周辺を通る反射光の量に応じた光電信号を出力する。また自動焦点合せの際、対物レンズ4を光軸方向に移動させるために、対物レンズ4と一体に設けられたナット部4aと、このナット部4aと螺合する送りネジ11と、この送りネジ11を所定量だけ正逆回転するサーボモータ12とが設けられている。ここでは対物レンズ4を移動させるものとするが、ステージ6を光軸方向に移動させてもよい。

ここでガラス板9a、10aに設けられた円形遮光部9b、10bの形状について、第2図を用いて説明する。第2図(a)はガラス板9aと円形遮

(6)

光部 9 b の平面図であり、第 2 図(b)はその断面図である。円形のガラス板 9 a の中心を対物レンズ 4 の光軸 ℓ が通るように、かつガラス板 9 a の表面と結像面 F P 1 の距離が d になるように配置し、さらに試料 5 からの反射光 ℓd が結像面 F P 1 に正確に結像したとき、円形遮光部 9 b の直径 c は、本実施例では結像面 F P 1 から距離 d の位置にデフォーカスしてできるスポット光像の強度分布の大きさとほぼ同じになるように定められているものとする。ただし、必ずしも直径 c と距離 d における強度分布の大きさとは同じである必要はなく、第 2 図(b)のような状態（すなわち対物レンズ 4 の焦点合せが達成された状態）で直径 c をその距離 d におけるデフォーカス像の強度分布の大きさよりも小さくしてもよい。逆に、直径 c をその強度分布の大きさよりも大きくすると、焦点検出の際、合焦点付近に不感帯が生じてしまい好ましくない。このことについては後述する。

第 3 図は第 1 図の光電検出器 9, 10 の各光電信号に基づいて焦点検出を行なう検出回路の回路

(7)

号 $(A - B)$ を分子として入力し、信号 $(A + B)$ を分母として入力し、 $(A - B) / (A + B)$ の除算を行ない、その除算値を表わす信号 E を出力する除算器 2 4 とを設ける。信号 $(A + B)$ は 2 つの光電検出器 9 と 10 に入射した総光量に応じたアナログ値を表わすから、信号 E は信号 $(A - B)$ を試料 5 の反射率に依存しないように正規化したアナログ値を表わす。そしてこの信号 E はサーボアンプ 2 5 を介して焦点調整用のモータ 1 2 に印加される。

次に本実施例の動作を第 4 図、第 5 図、及び第 6 図を参照して説明する。第 4 図はスポット光像の結像状態を模式的に表わしたものである。対物レンズ 4 の焦点位置が試料 5 の表面に正確に一致した合焦状態のときは、第 4 図(a)に示すように対物レンズ 4、集光レンズ 7 を通った反射光 ℓd の収束位置は結像面 F P 1, F P 2 と一致する。このため 2 つの光電検出器 9, 10 の円形遮光部 9 b, 10 b 上での光強度分布はともに第 5 図(a)に示すようになる。第 5 図で縦軸は円形遮光部

(9)

ブロック図である。光電検出器 9 の光電信号はブリアンプ 20 で一定量だけ増幅され、光電検出器 10 の光電信号はブリアンプ 21 で一定量だけ増幅される。減算器 2 2 はブリアンプ 20 で増幅された光電信号 A のアナログ値から、ブリアンプ 21 で増幅された光電信号 B のアナログ値を減算した信号 $(A - B)$ を出力する。信号 $(A - B)$ は光電検出器 9 と 10 の受光量の差に比例したアナログ値で得られ、その極性（正負）は焦点ずれの方向（前ピンか後ピンか）を表わし、その絶対値は焦点のずれ量に対応している。原理的にはこの信号 $(A - B)$ を得るだけで焦点検出が可能であるが、もし試料 5 表面の反射率が一様でなく変化する場合は、光電検出器 9, 10 に入射する光量はその反射率に依存して変化する。このため信号 $(A - B)$ の極性による焦点ずれの方向検出はできないもの、焦点ずれの正確な量は把握できないことになる。そこで本実施例では、さらに光電信号 A のアナログ値と光電信号 B のアナログ値とを加算して、信号 $(A + B)$ を出力する加算器 2 3 と、信

(8)

9 b, 10 b の位置における反射光 ℓd の光強度 I を表わし、横軸は反射光 ℓd の横断面の直径方向の位置を表わす。合焦状態のときは第 5 図(a)のように光強度分布 P 1 は直径 c とほぼ等しくなって大部分が遮光されるので、反射光 ℓd のうち光強度分布 P 1 の両端の極めて小さな裾野部分（斜線部）のみが光電検出器 9, 10 に受光される。このため光電信号 A と B のアナログ値はともに等しい値になり、信号 E のアナログ値は零になる。この信号 E はモータ 1 2 に印加され、モータ 1 2 を回転させるが、この場合信号 E のアナログ値が零であるため、モータ 1 2 は回転せず、合焦状態を保つ。

次に例えばステージ 6 を移動して試料 5 表面の別の位置を観察するとき、何らかの原因で試料 5 の光軸方向の位置が合焦状態のときの位置よりも下がった位置、すなわち対物レンズ 4 からより遠ざかった位置（後ピン状態）に変化したものとする。このときは第 4 図(b)に示すように反射光 ℓd の収束位置は結像面 F P 1, F P 2 から後の位置、

(10)

すなわち光電検出器10に近づく方向に変化する。このため円形遮光部10b上での光強度分布は第5図(b)に示すように、第5図(a)の光強度分布P1よりも幅が狭くシャープな光強度分布P2に変化する。そして光強度分布P2は直径cで全て遮光され、光電検出器10の光電信号Bは、合焦状態のときのアナログ値よりも小さくほぼ零になる。一方、この後ピン状態では反射光 ℓ dの収束位置は光電検出器9から遠ざかる方向に変化したことになる。このため円形遮光部9b上での光強度分布は第5図(c)に示すように、第5図(a)の光強度分布P1よりも幅が広くブロードな光強度分布P3に変化する。そして光強度分布P3の直径cで遮光されなかった据野部分は急激に大きくなるので、光電検出器9の光電信号Aは合焦状態のときのアナログ値よりも大きくなる。以上のようにして、後ピン状態のときは信号(A-B)は正極性になり、信号Eは後ピンのずれ量に応じたアナログ値に変化する。そのときの信号Eのアナログ値を+E1とし、合焦状態のときの対物レンズ4と試料

(11)

の径よりも大きい場合について説明する。この場合、合焦状態のとき光電信号A、Bはともにほぼ零であり、信号Eも零である。しかしながらこの合焦状態からわずかに非合焦になった状態でも光電信号A、Bがともに零から変化しないことが起り得る。そして非合焦の量がある大きさになったとき始めて光電信号AとBに差が生じて信号Eは零から変化する。このように円形遮光部9b、10bの直径が大きすぎると、合焦状態として検出される範囲が見かけ上広がることになり、精密な焦点合せには好ましくない。ただし、焦点合せの動作が速くなるという利点があるので、対物レンズ4の焦点深度が大きい場合には実用上十分に実施し得る。

次に本発明の他の実施例を第7図により説明する。第7図は検出回路のブロック図であり、第3図と同じ作用、動作するものについては同一の符号を付してある。この実施例では光源1から射出した光ビームに特定の周波数で強度変調を与える。光源1としてレーザダイオードやLEDを用いた

(13)

5の光軸方向(Z方向とする)における相対的な間隔をZ0とし、後ピン状態のときの間隔をZ1とすると、信号Eの変化特性は第6図のようにほぼ直線的な関係になる。このためモータ12は信号Eのアナログ値が+E1から零になるまで回転し、対物レンズ4の位置を合焦状態まで引き戻す。このように対物レンズ4のZ方向の移動は信号Eが常に零になるようにサーボ制御される。

さて、試料5が合焦状態のときの位置Z0から対物レンズ4に近づいた位置Z2(前ピン状態)に変化したものとする。このときは第4図(c)に示すように反射光 ℓ dの収束位置は結像面FP1、FP2から前の位置に変化する。このため後ピン状態のときは逆に信号Eは負極性のアナログ値-E2に変化する。従ってモータ12は後ピン状態のときは逆に回転し、対物レンズ4の位置を信号Eのアナログ値が零になる位置Z0まで引き戻す。

以上、本実施例を説明したが、ここで円形遮光部9b、10bの直径cが反射光 ℓ dの強度分布

(12)

場合は、駆動電流に変調をかければよい。また白熱電球の場合は、機械的なチョッパー(例えば回転スリット板等)を用いて光ビームをオン・オフすればよい。このため、光電信号A、Bは焦点ずれに応じたアナログ値が、光源1の変調周波数で変調された交流信号になる。

さて、光電信号A、Bは各々、光源1の変調周波数と一致した周波数成分を通すバンドパスフィルタ(以下BPFとする)30、32に入力する。BPF30、32の各出力信号はそれぞれAC/DCコンバータ31、33に入力して、交流信号の振幅成分に対応した直流電圧に変換される。AC/DCコンバータ31、33は一例として正弦波状の交流信号の実効値を検出するRMS/DCコンバータが好適である。このAC/DCコンバータ31、33の各出力信号i、jは光源1の変調がないときの光電信号A、Bに対応したものである。これら信号i、jは減算器22、加算器23に入力し、除算器24によって焦点ずれに応じた信号Eが作られる。

(14)

この実施例では、光源1を光強度変調し、光電信号から変調周波数成分のみを抽出するから、外乱光の影響を受けず、又、回路上で発生する雑音に対しても高い除去率を得ることができる。このために焦点ずれに応じた信号EのS/N比が向上し、良好な焦点合せ精度を得られるという効果がある。

以上本発明の各実施例を説明したが、以下、各実施例に共通の変形例を述べる。

第1図、第2図に示したように2つの円形遮光部9b、10bはともに同一の直径cで、結像面FP1、FP2から同一の距離dの位置に配置したが、その距離dは円形遮光部9b、10bで異なったものにしてもよい。その場合、信号Eは合焦状態のとき零とはならず、一定のオフセット電圧が重畳された変化特性を示す。すなわち第6図の特性はそのまま信号Eの正方向又は負方向に一定量だけシフトした特性に変わる。また円形遮光部9b、10bの直径を異なったものにし、合焦状態のとき信号Eが零になるようにそれぞれ結像

(15)

は受光面の大きな単一の受光素子とし、その受光面の前に2つの円形遮光部9b、10bをガラス板上に離して形成し、さらに2つの円形遮光部9b、10bの前にチョッパー板を設け、反射光 ℓ dが円形遮光部9bにのみ向う時間と、反射光 ℓ dが円形遮光部10bにのみ向う時間とが極めて短い間隔で交互に繰り返されるようにそのチョッパー板を振動、又は回転させる。そして検出回路には単一の受光素子からの時系列的な光電信号をチョッパー板の繰り返しサイクルで2つの光電信号A、Bに分離(復調)するマルチプレクサー等を設ける。そしてこの2つに分けられた光電信号A、Bから同様に信号Eを作り出すことができる。このようにすると単一の受光素子からそれぞれ前ピン情報と後ピン情報を持つ2つの光電信号を得るため、2つの光電検出器を使うよりも検出精度の向上が期待できる。それは光電検出器の受光感度のバラつきがなくなるからである。

また、単一の受光素子を用いる場合は、さらに第8図に示すような実施例も考えられる。基本的

(17)

面FP1、FP2から離れた位置に配置してもよい。

一方、スポット光像の形状も円形である必要はなく、矩形、三角形等にしてもよい。その場合、光源1には視野絞りを設け、さらにその視野絞りの位置、又はそれと共役な位置にピンホールの代りに矩形、三角形等の微小開孔をもつ遮光板を設け、試料5の表面に矩形、三角形のスポット光像を結像させる。そして光電検出器9、10にそのスポット光像の形と相似な矩形、又は三角形の遮光部9b、10bを設けることによって同様の効果を得ることができる。

また、光電検出器9、10とガラス板9a、9bとは密着している必要はなく、光電検出器9、10をそれぞれガラス板9a、9bから離して設け、その間に集光レンズ等を設けてもよい。

さらに、第1図に示したハーフプリズム8と光電検出器10との間に、反射部材等を入れて、光電検出器9と10を同一平面上に配置してもよい。この場合さらに発展させて、光電検出器9、10

(16)

な光学系は第1図のものと同一であり、異なる点はレンズ7によって収束された反射光 ℓ dの光路中に中央部に円形遮光部を形成したフィルター40を設け、このフィルター40を光軸方向に一定振幅で振動させる駆動部41と、振動のための発振信号を出力する発振器42と、フィルター40の後に配置された受光素子43からの光電信号を発振信号で同期検波する検波回路44とを設ける点である。このようにすると、検波された信号(所謂Sカーブ信号)は焦点ずれの量と方向とに対応したものとなり、同様に焦点検出が可能である。ここでフィルター40の振動中心は反射光 ℓ dの所定の結像面FPと一致させることが望ましいが、必ずしもその必要はない。フィルター40の円形遮光部が反射光 ℓ dの光路中で光軸方向に離れた2つの位置すなわち単位面積あたりの光量に差がある位置の間で振動していれば同様に焦点検出できる。またその2つの位置にそれぞれ液晶板を設け、液晶によって円形遮光部を表示したり、透明にしたりすることを、2つの液晶板について交

(18)

互に繰り返し、単一の受光素子で同期検波してもよい。

また第1図の光学系において、目視等のための接眼光学系を設けるために、集光レンズ7とハーフプリズム8の間にリレー光学系を入れて、対物レンズ4と集光レンズ7による結像面と共役な面の前後に光電検出器9、10を配置しても同様の効果が得られる。さらに光電検出器(受光素子)としては、受光面の中央部に遮光部9b、10bに相当する不感光部を設けて、ドーナツ(輪帯)状の受光面となるようなものを作り、これをそのまま使ってもよい。

(発明の効果)

以上本発明によれば、受光面の一部にスポット光像の形状と略相似な形の不感光部を有する2つの光電検出手段を、それぞれ所定の結像面からずれた位置に設けたので、合焦状態からのずれによるスポット光像の強度分布の広がりのみを光電検出でき、焦点ずれを高い感度で検出することができるといふ効果がある。

(19)

〔主要部分の符号の説明〕

- | | |
|------------------|-------------------|
| 1 …… 光源、 | 4 …… 対物レンズ、 |
| 5 …… 試料、 | 9, 10 …… 光電検出器、 |
| 9a, 10a …… ガラス板、 | 9b, 10b …… 円形遮光部、 |
| 12 …… モーター、 | 22 …… 減算器、 |
| 23 …… 加算器、 | 24 …… 除算器。 |

出願人 日本光学工業株式会社
代理人 渡辺 隆 男

(21)

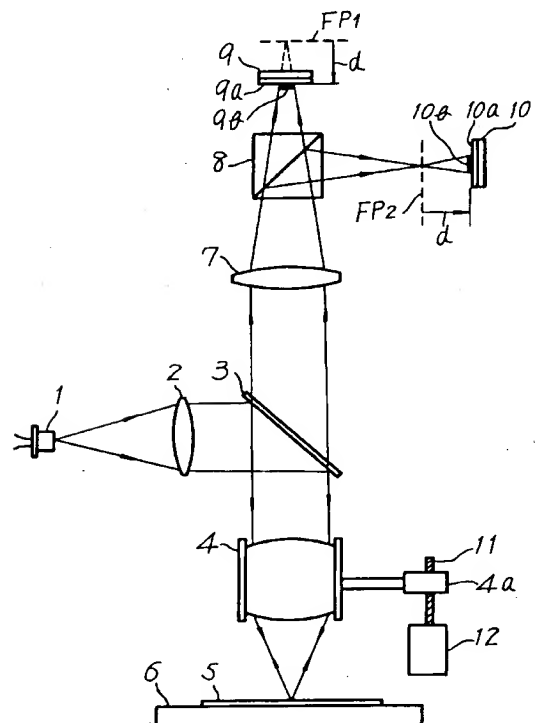
さらに2つの光電検出手段からの光電信号の差に基づいて焦点ずれを検出するので、検出感度はさらに高くなるという効果もある。さらに試料(対象物)が結像光学系の光軸方向に高速移動している最中でも、常に焦点ずれの量とその方向が検出できるから、結像光学系を用いた試料の観察が被労を伴うことなくすみやかにできるとともに、試料の検査にあたっては処理時間が短縮される可能性もある。

4. 図面の簡単な説明

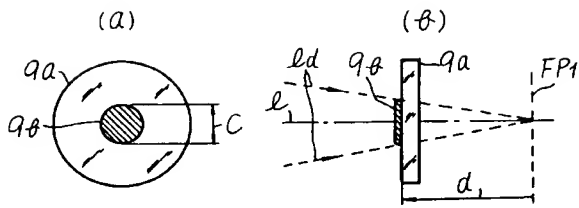
第1図は本発明の実施例による焦点検出装置の概略的な光学配置図、第2図(a)、(b)は光電検出器の円形遮光部の形状を示す平面図と断面図、第3図は検出回路の回路ブロック図、第4図は焦点状態の様子を模式的に示す図、第5図は光電検出器の円形遮光部にできる反射光の強度分布の変化を示す図、第6図は焦点ずれに応じた信号Eの特性図、第7図は本発明の他の実施例による検出回路のブロック図、第8図はさらに別の実施例による焦点検出装置の構成図、である。

(20)

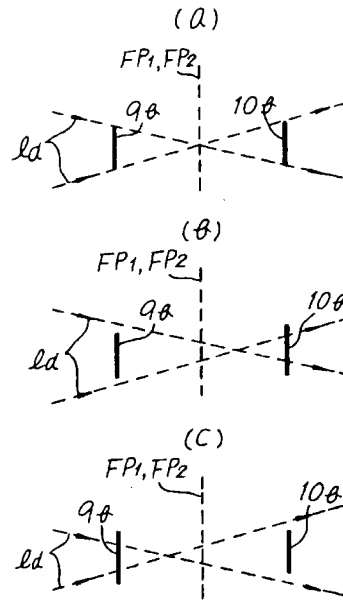
第1図



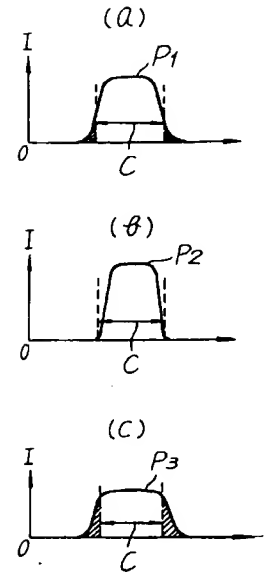
第 2 図



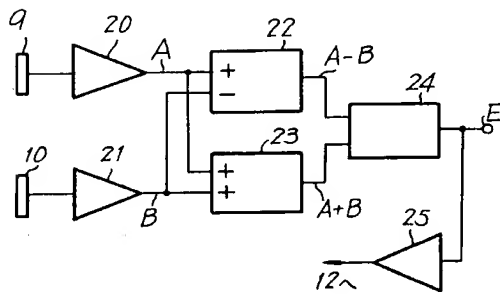
第 4 図



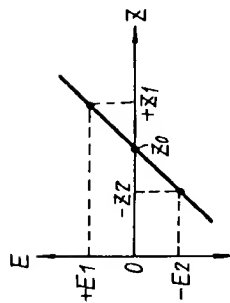
第 5 図



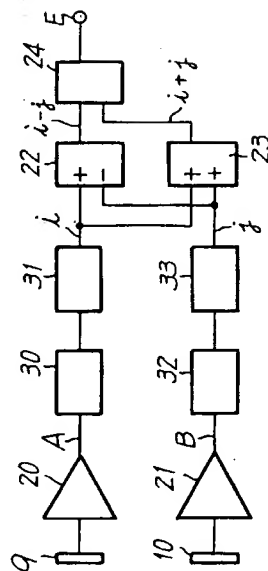
第 3 図



第 6 図



第 7 図



第 8 図

